Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 3, Fall 2023, p. 589-597

The Effect of CO_2 Enrichment on Leaf Anatomical Traits of Two Ficus Ornamental Species

N. Zomorrodi[1], M. Shoor[*2], A. Tehranifar[3], M. Goldani[4]

Received: 09-02-2020
Revised: 06-02-2022
Accepted: 14-03-2023
Available Online: 16-03-2023

How to cite this article:
Zomorrodi, N., Shoor, M., Tehranifar, A., & Goldani, M. (2023). The effect of CO_2 enrichment on leaf anatomical traits of two Ficus ornamental species. *Journal of Horticultural Science*, *37*(3), 589-597. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2023.61791.0

Introduction

Since the beginning of the industrial revolution, the indiscriminate consumption of fossil fuels has led to a dramatic increase in the concentration of atmospheric carbon dioxide. Over the past few decades, the concentration of atmospheric carbon dioxide has increased from 280 to 370 ppm and is expected to increase by about 1.8 ppm each year. Carbon dioxide, such as light, appropriate temperature, water and nutrients, is one of the essential nutrients needed by plants, which is currently less than required by plants. In general, plants need to absorb water from the soil and carbon dioxide from the atmosphere and use it in photosynthesis, which This is done by absorbing carbon dioxide through the through the pores. In general, stomatal properties have a major influence on the response of plants to carbon dioxide treatment. Leaf morphology, including stomatal density, may have a significant effect on the response of plants to carbon dioxide. There seems to be a great deal of variation among plant species in terms of how stomata density changes with increasing CO_2 concentration. The opening and closing of the stomata through carbon dioxide absorption, regulates the amount of water wasted when adverse environmental conditions. In fact, increasing carbon dioxide in plants reduces stomatal conductance and transpiration, increases water use efficiency, photosynthesis rate and higher light utilization efficiency.

Materials and Methods

This study was conducted as a split plot experiment based on a completely randomized design with three replications in the research greenhouse of Ferdowsi University of Mashhad. Treatments included three concentrations of carbon dioxide (380 ppm as control, 700 and 1050 ppm) as the main plot and two species of ornamental ficus (Benjamin and Elastic) as sub plots. At first, cuttings were rooted in boxes containing washed sand infused with carbendazim for 8 weeks. After rooting, the cuttings were transferred to culture media containing appropriate soil mixture and exposed to different concentrations of carbon dioxide for 16 weeks. Were affected. Mean daily temperature of 25 and mean night temperature of 18 °C and 65% humidity were considered equal for all treatments. Then, after the treatments, Stomatal traits were measured.

Results and Conclusion

The results showed that high concentrations of carbon dioxide can affect the anatomical traits of *Ficus* ornamental species. In this study, the results obtained from the analysis of variance of the studied traits showed that the effect of different concentrations of carbon dioxide was not significant only for the stomatal index, but

1, 2, and 3- Ph.D. Gratuate, Associate Professor and Professor, Department of Horticultural Science and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: shoor@um.ac.ir)
4- Associate Professor, Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
https://doi.org/10.22067/jhs.2023.61791.0

for other traits studied in this study. The main effect of carbon dioxide concentration was significant at 1% probability level.The results showed that the traits of stomata diameter in plant species and different concentrations of carbon dioxide were significant at 5 and 1% probability levels, respectively. Also with increasing the concentration of carbon dioxide the diameter of the stomatal decreased so that the highest stomatal diameter was related to the concentration of 380 ppm and the lowest to the concentration of 1050 ppm. In fact, increasing the concentration of carbon dioxide from the level of 380 to 1050 ppm led to a decrease of 19.91 percent in the diameter of the stomatal. Increasing the concentration of carbon dioxide in the environment of plants, initially increases the slope of the concentration of carbon dioxide between the surrounding air and the chamber under their stomata, and then more carbon dioxide through the pores leads to a decrease in the slope due to the abundance of carbon dioxide in the chamber below the stomata, This action reduces the diameter of the stomatal. As the concentration of carbon dioxide increased the stomatal cell density and stomatal area. Among the high concentrations of carbon dioxide the concentration of 700 ppm affected most of the traits, including stomatal diameter, stomatal area, epidermal cell density, stomach length and stomach width. though there was no significant difference between high concentrations of carbon dioxide (700 and 1050 ppm). According to the results of this study, it seems that anatomical traits are influenced by environmental factors and are not recognized as a hereditary factor. Among the species, the elastica species showed the most reaction to carbon dioxideal.

Conclusion

In general, clarifying the stomatal response to carbon dioxide concentration is important for understanding the stomatal physiology and gas exchange between vegetation and the In general, stomatal properties have a major influence on the response of plants to carbon dioxide treatment. Carbon dioxide at appropriate concentrations can increase growth and also affect the stomach properties to allow the plant to adapt to environmental conditions.

Keywords: Anatomical characteristics, Benjamin, Carbon dioxide, Elastica, Stomatal density

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، ص. ۵۹۷-۵۸۹

بررسی اثر غنی‌سازی دی‌اکسید کربن بر صفات آناتومیکی برگ دو گونه فیکوس زینتی (*Ficus benjamina* and *Ficus elastica*) در شرایط گلخانه

ناهید زمردی[1]- محمود شور[2*]- علی تهرانی فر[3]- مرتضی گلدانی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۳

چکیده

دی‌اکسید کربن یکی از گازهای موجود در اتمسفر می‌باشد. غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر طی چند دهه گذشته افزایش یافته است. بنابراین انتظار می‌رود که این افزایش روی گیاهان موثر واقع شود. به‌منظور ارزیابی اثرات غلظت‌های مختلف دی‌اکسیدکربن بر برخی صفات آناتومیکی دو گونه فیکوس زینتی (فیکوس بنجامین و فیکوس الاستیکا)، یک آزمایش اسپلیت پلات بر پایه‌ی طرح کاملا تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. تیمارهای موردنظر شامل دو گونه فیکوس زینتی و سه غلظت دی‌اکسید کربن (غلظت ۳۸۰ پی‌پی‌ام (شاهد)، ۷۰۰ و ۱۰۵۰ پی‌پی‌ام) بودند. در این آزمایش، هشت صفت آناتومیکی نظیر تراکم روزنه، تراکم سلول‌های اپیدرمی، عرض روزنه، طول روزنه، شاخص روزنه، مساحت روزنه، مساحت اپیدرم و قطر روزنه روی گیاهان مورد نظر ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که تقریبا تمام صفات مورد مطالعه تحت تأثیر دی‌اکسید کربن قرار گرفت. غلظت ۷۰۰ پی‌پی‌ام دی‌اکسید کربن بیشترین تاثیر را بر صفات مورد مطالعه داشت. غلظت ۷۰۰ پی‌پی‌ام بیشترین تأثیر را بر صفت مساحت روزنه داشت. میانگین عرض روزنه و تراکم روزنه به‌ترتیب ۲۱/۲۸ و ۹۱ درصد نسبت به میانگین شاهد افزایش یافت. همچنین این نتایج نشان داد که بیشترین میانگین تراکم روزنه، تراکم سلول‌های اپیدرمی، مساحت روزنه و قطر روزنه مربوط به گونه فیکوس الاستیکا بود. در بین گونه‌های مورد بررسی، گونه فیکوس الاستیکا نسبت به گونه فیکوس بنجامین در تمامی صفات برتری نشان داد. در واقع پاسخ روزنه‌ها به تغییرات محیطی به صفاتی همچون قطر روزنه، تراکم روزنه، شاخص روزنه، اندازه سلول‌های محافظ و منافذ روزنه و سطح برگ مربوط است که در تبادلات گازی بین گیاه و جو شرکت می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: الاستیکا، بنجامین، تراکم روزنه، دی‌اکسید کربن و صفات آناتومیکی

مقدمه

از شروع انقلاب صنعتی، مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی منجر به افزایش چشمگیری در غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر شده است. به‌طوری‌که طی چند دهه‌ی اخیر، غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر از ۲۸۰ به ۳۷۰ پی‌پی‌ام افزایش یافته و پیش‌بینی می‌شود که در هر سال حدود ۱/۸ پی‌پی‌ام بر غلظت آن افزوده گردد (Beerling and Kelly, 1997; Mavrogianopoulos *et al*., 1999). انتظار می‌رود که غلظت دی‌اکسید کربن جو از ۳۷۰ به ۵۵۰ پی‌پی‌ام تا اواسط قرن حاضر (Driscoll *et al*., 2006) و تا پایان قرن حاضر به ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام افزایش یابد (Ainaworth *et al*., 2004; Cheng *et al*., 2009). تغییر در غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر به‌طور وسیعی در بسیاری از مطالعات مورد ارزیابی قرار گرفته است (Beerling and Kelly, 1997). برای نمونه، نتایج برخی از آزمایشات نشان می‌دهد زمانی که گیاه در معرض دی‌اکسید کربن با

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانش آموخته دکتری، دانشیار و استاد گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: shoor@um.ac.ir)
۴- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

https://doi.org/10.22067/jhs.2023.61791.0

غلظت بالا قرار می‌گیرد، هدایت روزنه‌ای کاهش می‌یابد. در واقع پاسخ روزنه‌ها به تغییرات محیطی و هدایت روزنه‌ای آنها به صفاتی همچون قطر روزنه، تراکم روزنه، شاخص روزنه، اندازه سلول‌های محافظ و منافذ روزنه و سطح برگ مربوط می‌باشد که از مهمترین پارامترهای اکوفیزیولوژیک می‌باشد که بر تبادلات گازی بین گیاه و اتمسفر مؤثر می‌باشد (Ferris and Taylor, 1994; Van Labeke and Dambre, 1998). چنگ و همکاران (Cheng *et al*., 2009) نشان دادند که غلظت ۶۸۰ پی‌پی‌ام دی‌اکسید کربن همراه با دمای شبانه ۳۲ درجه سانتی‌گراد باعث افزایش وزن خشک و عملکرد برنج می‌شود. در مطالعه‌ای دیگر، افزایش غلظت دی‌اکسید کربن به‌میزان ۷۰۰ تا ۱۴۰۰ پی‌پی‌ام، سبب افزایش تولید گل‌های زینتی رعنا ز یبا، جعفری و ابری شد (Shoor *et al*., 2009). تحقیقات نشان داد که تحت شرایط درجه حرارت روزانه ۲۸ و شبانه ۱۸ درجه سانتی‌گراد، افزایش غلظت دی‌اکسید کربن به ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام به‌مدت ۵۰ روز، باعث افزایش معنی‌داری در تراکم روزنه‌ها (۶۸/۷ درصد نسبت به ۲۹/۶ درصد شاهد) و تراکم سلول‌های اپیدرمی به‌میزان ۳۷/۳ درصد در گل رز شد (Rogers *et al*., 1997). در آزمایشی دیگر افزایش دی‌اکسید کربن تا غلظت ۸۰۰ تا ۹۰۰ پی‌پی‌ام، سبب افزایش عملکرد در پیاز به‌میزان ۲۳ درصد و در هویج ۸ درصد نسبت به گیاهان شاهد گردید (Mortensen, 1987). شدت نور (Lake *et al*., 2001)، کیفیت نور (Mavrogianopoulos *et al*., 1999)، رطوبت (Uprety *et al*., 2002) و دی‌اکسید کربن اتمسفر و افزایش آن (Driscoll *et al*., 2006) نشان می‌دهد که تراکم روزنه و شاخص آن تحت تاثیر این عوامل می‌باشند. این مطالعات نشان می‌دهد که تعداد روزنه‌ها در گونه‌های گیاهی، در نتیجه افزایش غلظت دی‌اکسید کربن کاهش می‌یابد (Woodward, 1987) در حالی‌که پاندی و همکاران (Pandey *et al*., 2007) و فریس و تیلور (Ferris and Taylor, 1994) نشان دادند که تراکم روزنه‌ها با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن ازدیاد می‌یابد. مطالعات نشان می‌دهند که اثر افزایش دی‌اکسید کربن بر تراکم روزنه‌ها، بستگی به گونه، عادت رشد و مناطق رشد گیاهان دارد. به‌عنوان مثال تفاوت در بین چهار رقم برنج، هنگامی که غلظت دی‌اکسید کربن افزایش می‌یابد، پاسخ به پارامترهای روزنه‌ای در بین آنها متغیر است.

این پژوهش، به‌منظور مطالعه صفات آناتومیکی دو گونه فیکوس زینتی تحت شرایط دی‌اکسید کربن با غلظت‌های بالا در دانشگاه فردوسی مشهد انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و شرایط رشد: این تحقیق در قالب آزمایش اسپلیت پلات بر پایه طرح کاملا تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. تیمارها شامل سه غلظت دی‌اکسید کربن (۳۸۰ (شاهد)، ۷۰۰ و ۱۰۵۰ پی‌پی‌ام) به‌عنوان کرت اصلی و دو گونه فیکوس زینتی (فیکوس بنجامین و فیکوس الاستیکا) به‌عنوان کرت فرعی بودند. برای تنظیم دی‌اکسید کربن با غلظت‌های مورد نظر از یک سیستم کاملا خودکار استفاده گردید. یک فتوسل، دستور روشن و خاموش شدن را به‌ترتیب در روز و شب انجام می‌داد و با استفاده از کپسول‌های ۵۰ کیلویی دی‌اکسید کربن و شیرهای برقی و زمان‌های که در مسیر قرار داده شده بودند، تزریق گاز صورت گرفت. با استفاده از دی‌اکسید کربن‌متر پرتابل، غلظت دی‌اکسید کربن در طول روز اندازه‌گیری شد. ابتدا قلمه‌ها به‌مدت ۸ هفته در داخل باکس‌های حاوی ماسه شسته و ضدعفونی شده با قارچ‌کش کاربندازیم، جهت ریشه‌زایی قرار گرفتند و بعد از ریشه‌زایی به بسترهای کشت حاوی خاک زراعی: ماسه: خاکبرگ به‌نسبت ۲:۱:۲ منتقل شده و به‌مدت ۱۶ هفته تحت تاثیر غلظت‌های مختلف دی‌اکسید کربن قرار گرفتند. متوسط درجه حرارت روزانه ۲۵ و متوسط درجه حرارت شبانه ۱۸ درجه سانتی‌گراد برای کلیه تیمارها یکسان در نظر گرفته شد. فتوپریود با توجه به زمان آزمایش، ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی بود. رطوبت نسبی به‌طور متوسط حدود ۶۵ درصد اندازه‌گیری و درطول آزمایش ثبت شد.

اندازه‌گیری‌ها: برای اندازه‌گیری روزنه‌ها از برگ پنجم گیاه استفاده گردید و با استفاده از یک اسکالپل که مجهز به تیغ جراحی شماره ۲۴ بود، لایه نازکی از سطح رویی برگ جدا و با پنس آن را روی لام‌های مدرج موسوم به لام توما قرار داده و با استفاده از یک میکروسکوپ با قابلیت تصویربرداری، ابتدا طول و سپس عرض روزنه‌ها بر حسب واحد میکرومتر محاسبه گردید. جهت اندازه‌گیری تراکم سلول‌های اپیدرمی و روزنه‌ها نیز از همین روش استفاده شد و مقادیر در یک میلی‌متر مربع ثبت گردید. برای اندازه‌گیری شاخص روزنه از فرمول زیر استفاده گردید (Chunyan *et al*., 2008).

$$SI=[(S/E+S)] *100$$

E و S بیانگر تعداد سلول‌های اپیدرمی و روزنه در واحد سطح میلی‌متر مربع و SI شاخص روزنه (درصد) می‌باشد.

آنالیز آماری داده‌های این پژوهش، توسط نرم‌افزار Jmp8 و کلیه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج به‌دست آمده از جدول تجزیه واریانس صفات مورد بررسی نشان داد که اثر غلظت‌های مختلف دی‌اکسید کربن تنها در مورد شاخص روزنه معنی‌دار نبوده ولی در مورد سایر صفات مورد بررسی در

این پژوهش، اثر اصلی غلظت دی‌اکسید کربن در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بودند (جدول ۱). نتایج نشان داد که صفت قطر روزنه‌ها در گونه‌های گیاهی و غلظت‌های مختلف دی‌اکسید کربن به‌ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). در حالی که برهمکنش غلظت دی‌اکسید کربن با گونه گیاهی تاثیری بر این صفت نداشت (جدول ۱). براین اساس، گونه فیکوس الاستیکا با میانگین ۳۰۸/۴۴۴ میکرومتر مربع نسبت به گونه فیکوس بنجامین برتری نشان داد (شکل ۲). همچنین با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، قطر روزنه کاهش یافت به‌طوری‌که بیشترین قطر روزنه به غلظت ۳۸۰ پی‌پی‌ام و کمترین آن به غلظت ۱۰۵۰ پی‌پی‌ام مربوط بود. درواقع افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از سطح ۳۸۰ به ۱۰۵۰ پی‌پی‌ام، منجر به کاهش ۱۹/۹۱ درصدی قطر روزنه شد (شکل ۱). اثر اصلی غلظت دی‌اکسید کربن در سطح احتمال ۱ درصد بر میانگین صفت مساحت روزنه‌ها معنی‌دار بود، ولی در بین گونه‌های گیاهی و برهمکنش آن با غلظت دی‌اکسید کربن تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱). غلظت ۷۰۰ پی‌پی‌ام بیشترین تاثیر را بر صفت مساحت روزنه داشت. به این ترتیب با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از ۳۸۰ به ۷۰۰ پی‌پی‌ام، مساحت روزنه ۳۱/۳۶ درصد افزایش یافت ولی با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن به ۱۰۵۰ پی‌پی‌ام، مساحت روزنه کم شد (جدول ۲).

نتایج مربوط به صفت تراکم روزنه نشان داد که اثر ساده گونه گیاهی و غلظت‌های متفاوت دی‌اکسید کربن در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود ولی اثرات متقابل گونه و دی‌اکسید کربن معنی‌دار نبود (جدول ۱). براین اساس، گونه فیکوس الاستیکا (با برگ‌های بزرگ‌تر و پهن) با میانگین ۱۷/۳۳۳ میلی‌متر مربع نسبت به گونه بنجامین (با برگ‌های کوچک‌تر) برتری نشان داد (شکل ۴). با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن بر تراکم سلول‌های روزنه افزوده شد، هرچند بین غلظت‌های بالای دی‌اکسید کربن تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و فقط نسبت به شاهد معنی‌دار بود. به این ترتیب با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از سطح ۳۸۰ به ۱۰۵۰ پی‌پی‌ام، تراکم روزنه ۹۶/۴۳ درصد افزایش یافت (شکل ۳). نتایج تجزیه واریانس برای صفت تراکم سلول‌های اپیدرمی نشان داد که اثرات ساده گونه گیاهی و دی‌اکسید کربن در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

بر این اساس گونه فیکوس الاستیکا با میانگین ۳۲ میلی‌متر مربع تراکم بیشتری در مقایسه با گونه فیکوس بنجامین با میانگین ۲۵/۶۶۷ میلی‌متر مربع داشته است (جدول ۲). اگرچه بین سطوح بالای دی‌اکسید کربن (غلظت ۷۰۰ و ۱۰۵۰ پی‌پی‌ام) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد اما نتایج حاکی از کاهش جزئی تراکم سلول‌های اپیدرمی در سطح ۱۰۵۰ پی‌پی‌ام نسبت به ۷۰۰ پی‌پی‌ام است (جدول ۲). تجزیه واریانس میانگین صفت مساحت اپیدرم تفاوت معنی‌داری را در بین گونه‌های مورد آزمایش و غلظت‌های مختلف دی‌اکسید کربن به‌ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد نشان داد اما برهمکنش این دو تاثیری بر این صفت نداشت (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در دو گونه فیکوس زینتی

Table 1- The ANOVA for the measured traits of two ornamental Ficus species

		میانگین مربعات Mean Square							
تیمار Treatment	درجه آزادی D.F.	قطر روزنه Stomata diameter	مساحت روزنه Stomata area	تراکم روزنه Stomata density	تراکم سلول‌های اپیدرمی Epidermal cell density	شاخص روزنه Stomata index	مساحت اپیدرم Epidermal area	طول روزنه Stomata length	عرض روزنه Stomata width
دی اکسید کربن CO_2	2	7480.66 **	754911666 **	153.50 **	597.17 **	3.767 ns	501047360 **	411.808 **	335.21 **
خطای کرت اصلی $Error_1$	6	128.28	86940070	2.33	6.61	7.267	6803339.5	48.70	14.882
گونه Species	1	1233.39 *	2270360.3 ns	84.50 **	180.50 **	4.22 ns	165957053 *	0.33ns	58.970 ns
گونه × دی‌اکسیدکربن CO_2× Species	2	56.52 ns	106125404 ns	8.16 ns	4.17 ns	7.81 ns	64439627 ns	34.74 ns	29.150 ns
خطای کرت فرعی $Error_2$	6	167.17	38516538	2.11	1.28	10.13	14268058	27.21	20.76

ns و * و ** به‌ترتیب عدم اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns,**,* Non-significant and significant at 1 and 5 % of probability levels, respectively.

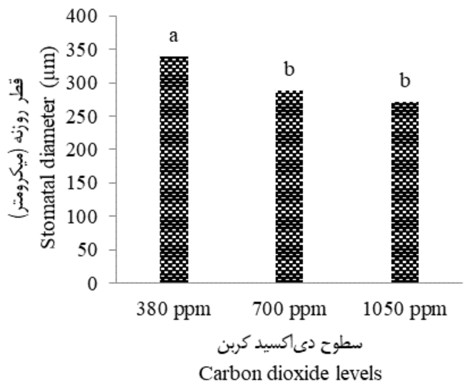
جدول ۲- اثر گونه و دی‌اکسید کربن بر صفات اندازه‌گیری شده در دو گونه فیکوس زینتی

Table 2- The effect of species and CO_2 on the measured traits of two ornamental Ficus species

تیمار Treatment	مساحت اپیدرم Epidermal area (μm^2)	تراکم سلول‌های اپیدرمی Epidermal cell density (mm^2)	مساحت روزنه Stomata area (μm^2)
Benjamina بنجامین	88471.58 b	25.67 b	-
Elastica الاستیکا	94544.42 a	32.00 a	-
۳۸۰ پی‌پی‌ام 380 ppm	81001.81 b	17.33 b	58012.25 b
۷۰۰ پی‌پی‌ام 700 ppm	95910.93 a	35.17 a	76207.99 a
۱۰۵۰ پی‌پی‌ام 1050 ppm	97611.27 a	34.00 a	62302.12 b

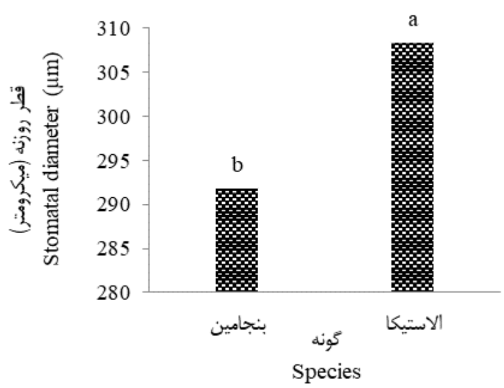
در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه می‌باشند از نظر آماری مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means in the same column followed by the same letter were not significantly different based on Duncan's multiple range test at the 5% of probability level.



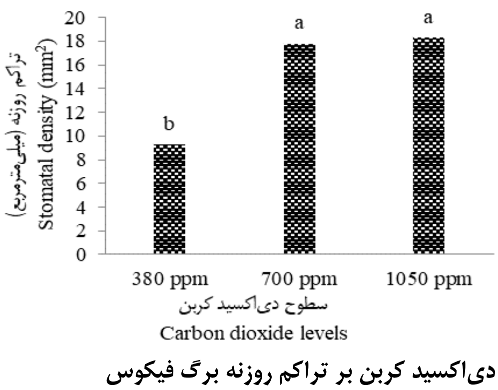
شکل ۱- اثر دی‌اکسید کربن بر قطر روزنه برگ فیکوس

Figure 1- Effect of carbon dioxide on stomata diameter of ficus leaves



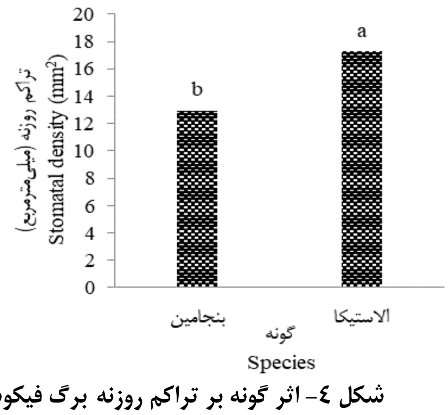
شکل ۲- اثر گونه بر قطر روزنه

Figure 2- Effect of species on stomata diameter of ficus leaves



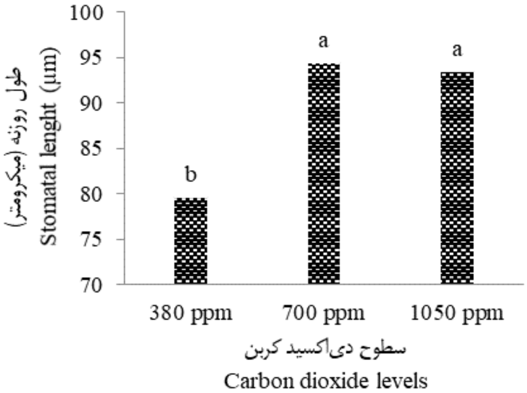
شکل ۳- اثر دی‌اکسید کربن بر تراکم روزنه برگ فیکوس

Figure 3- Effect of carbon dioxide on stomatal density of ficus leaves

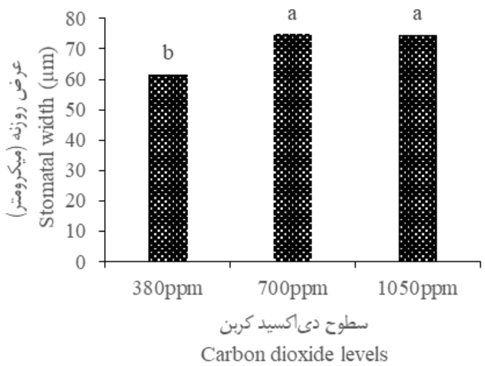


شکل ٤- اثر گونه بر تراکم روزنه برگ فیکوس

Figure 4- Effect of species on stomatal density of ficus leaves



شکل ۵- اثر دی‌اکسید کربن بر طول روزنه برگ فیکوس
Figure 5- Effect of carbon dioxide on stomatal length of ficus leaves



شکل ٦- اثر دی‌اکسید کربن بر عرض روزنه برگ فیکوس
Figure 6- Effect of carbon dioxide on stomatal width of ficus leaves

بر این اساس گونه فیکوس الاستیکا با میانگین ۹۴۵۴۴/۴۲۳ میکرومتر مربع نسبت به گونه فیکوس بنجامین با میانگین ۸۸۴۷۱/۵۸۷ میکرومتر مربع برتری نشان داد (جدول ۱). از طرف دیگر با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن بر مساحت اپیدرم افزوده گردید، اما بین غلظت‌های بالای دی‌اکسید کربن تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید و تنها نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار بودند، به‌طوری‌که با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از ۳۸۰ به ۱۰۵۰ پی‌پی‌ام، مساحت اپیدرم ۲۰/۵۰ درصد افزایش یافت (جدول ۲).

صفت طول روزنه در تیمار غلظت‌های مختلف دی‌اکسید کربن در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود ولی در بین گونه‌های گیاهی مورد آزمایش و بر همکنش آن با غلظت دی‌اکسید کربن تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۱). غلظت ۷۰۰ پی‌پی‌ام دی‌اکسیدکربن بیشترین تاثیر را بر صفت طول روزنه داشت. با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن بر طول روزنه‌ها افزوده گردید. و افزایش ۱۸/۵۹ درصدی در طول روزنه مشاهده گردید. ولی بین غلظت‌های بالای دی‌اکسید کربن تفاوت معنی‌دار نبود و تنها نسبت به شاهد معنی‌دار بود (شکل ۵). برای صفت عرض روزنه، تفاوت معنی‌داری بین گونه‌های گیاهی و برهمکنش آنها با غلظت‌های مختلف دی‌اکسید کربن مشاهده نشد، تنها اثر ساده غلظت دی‌اکسید کربن در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بین غلظت‌های بالای دی‌اکسید کربن تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و تنها نسبت به شاهد معنی‌دار بودند. غلظت ۷۰۰ پی‌پی‌ام بیشترین تأثیر را بر عرض روزنه داشت به گونه‌ای که با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از ۳۸۰ به ۷۰۰ پی‌پی‌ام، عرض روزنه افزوده شد. درواقع یک افزایش ۲۱/۲۲ درصدی را نشان داد، هرچه به غلظت دی‌اکسید کربن افزوده شد، عرض روزنه کم شد (شکل ۶).

در حال حاضر بیشترین مطالعات کنترل محیطی مربوط به بهبود وضعیت روزنه‌ها می‌باشد که با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن ایجاد می‌شود. با افزایش این گاز، تراکم روزنه‌ها تحت تاثیر واقع می‌شوند که به نوبه‌ی خود بر رشد گیاهان موثر واقع می‌شود (Hetherington and Woodward, 2003). افزایش غلظت دی‌اکسید کربن محیط اطراف گیاهان، در ابتدا باعث افزایش شیب غلظت دی‌اکسید کربن بین هوای اطراف و اتاقک زیر روزنه آنها می‌شود و در ادامه ورود بیشتر دی‌اکسید کربن از طریق روزنه‌ها منجر به کاهش شیب غلظت به‌علت فراوانی دی‌اکسید کربن در اتاقک زیر روزنه شده و این عمل باعث کمتر شدن قطر روزنه گیاه می‌شود. چرا که گیاهان روزنه‌های خود را باز نگه داشته تا از طریق آنها دی‌اکسید کربن را از هوای اطراف گرفته و وارد فضای اطراف آنزیم‌های فتوسنتزی کنند. این عمل با از دست دادن آب طی فرایند تعرق از طریق روزنه‌ها توام است که خود منجر به تلفات بیش از اندازه آب می‌شود. بنابراین هنگامی که غلظت دی‌اکسید کربن در اتاقک زیر روزنه آنها افزایش می‌یابد، روزنه‌های خود را بسته‌تر نگه دارند تا از اتلاف بیهوده آب جلوگیری کنند. پاندی و همکاران (Pandey *et al*., 2007) نیز در آزمایشی روی گل رز به نتایج مشابه‌ای دست یافتند.

از آنجا که شاخص روزنه نشان دهنده نسبت سلول‌های روزنه‌ای به غیرروزنه‌ای است، بنابراین زمانی تحت تاثیر عوامل مختلف محیطی این شاخص زیاد می‌شود که تعداد روزنه در واحد سطح افزایش یابد اما تعداد سلول‌های اپیدرمی ثابت باقی بماند. پاندی و همکاران (Pandey *et al*., 2007) در یافته‌های خود نشان دادند که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از ۳۸۰ به ۷۰۰ پی‌پی‌ام تاثیر چندانی بر شاخص روزنه گل رز نداشت. همچنین آنها اظهار داشتند که چنانچه گیاهان رز در معرض غلظت بالای دی‌اکسید کربن قرارگیرند افزایش معنی‌داری در تراکم روزنه‌ها پدید می‌آید. در این پژوهش نیز با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن به‌میزان ۱۰۵۰ پی‌پی‌ام تراکم روزنه‌ها افزایش یافت که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. همچنین محققان نشان دادند در رز با افزایش تراکم روزنه‌ها و سلول‌های اپیدرمی هنگامی که گیاهان در معرض دی‌اکسید کربن با غلظت بالا قرار می‌گیرند، آغازیدن روزنه‌ها[1] افزایش می‌یابد که منجر

1- Stomatal initiation

به افزایش تقسیم سلولی در سلول‌های اپیدرمی می‌گردد. در این تحقیق نیز با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، تراکم روزنه، تراکم سلول‌های اپیدرمی، مساحت اپیدرم، طول روزنه و عرض روزنه افزایش یافت. در دیگر تحقیقات، افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، در ارقام *Brassica* باعث افزایش در طول روزنه (طول و عرض) سلول‌های محافظ شد که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد (Ainaworth *et al*., 2004; Van Labeke and Dambre, 1998). داس (Das, 2003) و اوپرتی و همکاران (Uprety *et al*., 2002) افزایش در طول روزنه را تحت شرایط دی‌اکسید کربن با غلظت بالا را به‌ترتیب در ارقام کلم و برنج گزارش نمودند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. محققان نشان دادند که صفات آناتومیکی گیاهان نظیر تراکم روزنه، تراکم سلول‌های اپیدرمی و طول روزنه تحت تاثیر عوامل محیطی بوده و به‌عنوان یک عامل وراثتی شناخته نمی‌شود. این نتایج با نتیجه این تحقیق کاملا سازگاری داشت (Uprety *et al*., 2002). همچنین افزایش معنی‌داری در تراکم سلول‌های اپیدرمی، هنگامی که گیاهان تحت شرایط دی‌اکسید کربن بالا قرار می‌گیرند، به‌وجود می‌آید که نتیجه مستقیم آن، افزایش تقسیم سلولی و افزایش حجم سلولی می‌باشد که از نتایج ما حمایت می‌کند. تراکم روزنه در سطح برگ بسته به گونه گیاهی است که می‌تواند با اکوتیپ گیاهی نیز مرتبط باشد (Woodward and Kelly, 1995). به‌نظر می‌رسد که در بین گونه‌های گیاهی تفاوت‌های بسیاری از لحاظ تراکم روزنه نسبت به افزایش دی‌اکسید کربن وجود داشته باشند. در برخی از آزمایش‌ها ملاحظه شده است که تیمارهای مختلف دی‌اکسید کربن (۱۶۰ تا ۹۰۰ پی‌پی‌ام) موجب افزایش تراکم روزنه برگ‌های برنج و لوبیا شد که از نتایج این تحقیق حمایت می‌کند (Shoor *et al*., 1984). روزنه، مدخل بزرگی برای تبادل گاز بین سلول‌های مزوفیلی و محیط می‌باشد و ۵ درصد از اپیدرم برگ را اشغال کرده است و روی هر دو سطوح برگ رویی و پشتی وجود دارند. در ذرت روی هر دو سطح قرار دارند. در ذرت تعداد سلول‌های اپیدرمی در برگ‌های رشد کرده در غلظت ۷۰۰ پی‌پی‌ام دی‌اکسیدکربن تقریبا کاهش یافته بود، در حالی که تعداد روزنه تحت تاثیر غلظت دی‌اکسید کربن قرار نگرفته بود. کوچکترین و بزرگترین سلول اپیدرمی به‌ترتیب روی سطوح پشتی در غلظت ۳۵۰ پی‌پی‌ام و سطح رویین برگ‌های رشد کرده در غلظت ۷۰۰ پی‌پی‌ام دی‌اکسید کربن مشاهده شده بود. تراکم روزنه‌ای روی سطوح رویی برگ‌های گیاهان رشد کرده در غلظت ۷۰۰ پی‌پی‌ام در مقایسه با گیاهان شاهد بیشتر بود. مساحت روزنه‌ای در ذرت رشد کرده در غلظت ۷۰۰ پی‌پی-ام، کمی بالاتر از گیاهان شاهد بود. همچنین با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن بر مساحت اپیدرم افزوده گردید (Schoch *et al*., 1984).

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از مسئولان محترم معاونت پژوهش فناوری دانشگاه فردوسی مشهد که زمینه انجام این تحقیق را فراهم نمودند، تشکر می‌گردد.

منابع

1. Ainaworth, E.A., Rogers, A., Nelson, R., & Long, S. (2004). Testing the source-sink hypothesis of downregulation of photosynthesis in elevated CO_2 in the field with single gene substitutions in *Glycine max*. *Agricultural and Forest Meteorology*, *122*, 85-94. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.09.002
2. Beerling, D.J., & Kelly, C.K. (1997). Stomatal density responses of temperate woodland plants over the past seven decades of CO_2 increase: a comparison of Salisbury (1927) with contemporary data. *American Journal of Botany*, *84*, 1572–1583. https://doi.org/10.2307/2446619
3. Cheng, W., Sakai, H., Yagi, K., & Hasegawa, T. (2009). Interactions of elevated CO_2 and night temperature on rice growth and yield. *Agricultural and Forest Meteorology*, *149*(1-4), 51-58. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.07.006
4. Chunyan, W., Maosong, Li., Jiqing, S., Yonggang, C., Xiufen, W., & Yongfeng, W. (2008). Differences in stomatal and photosynthetic characteristics of five diploidy wheat species. *Acta Ecologica Sinica*, *28*, 3277-3283. https://doi.org/10.1016/S1872-2032(08)60070-0
5. Das, R. (2003). *Characterization of response of Brassica cultivars to elevated carbon dioxide under moisture stress*. Ph.D. Thesis, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi.
6. Driscoll, S.P., Prins, A., Olmos, E., Kunert, K.J., & Foyer, C.H. (2006). Specification of adaxial and abaxial stomata, epidermal structure and photosynthesis to CO_2 enrichment in maize leaves. *Journal of Experimental Botany*, *57*, 381–390. https://doi.org/10.1093/jxb/erj030
7. Ferris, R., & Taylor, G. (1994). Stomatal characteristics of four native herbs following exposure to elevated CO_2. *Annals of Botany*, *73*, 447–453.
8. Hetherington, A.M., & Woodward, F.I. (2003). The role of stomata in sensing and driving environmental change. *Nature*, *424*, 901–908. https://doi.org/10.1038/nature01843
9. Lake, J.A., Quick, W.P., Beerling, D.J., & Woodward, F.I. (2001). Plant development: signals from mature to new leaves. *Nature*, *411*, 154–155. https://doi.org/10.1038/35075660

10. Mavrogianopoulos, G.N., Spanakis, J., & Tsikalas, P. (1999). Effect of CO_2 enrichment and salinity on photosynthesis and yield in melon. *Scientia Horticulturae*, 79(1-2): 51-63. https://doi.org/10.1016/S0304-4238(98)00178-2
11. Mortensen, L.M. (1987). Co_2 enrichment in greenhouses. Crop responses. *Scientia Horticulturae*, *33*, 1-25. https://doi.org/10.1016/0304-4238(87)90028-8
12. Pandey, R., Chenhacko, P.M., Choudhary, M.L., Prasad, K.V., & Madan, P. (2007). Higher than optimum temperature under CO_2 enrichment influences stomata anatomical chracters in rose (*Rosa hibrida*). *Scientia Horticulturae*, *113*, 74-81. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.01.021
13. Rogers, H.H., Runion, G.B., Krupa, S.V., & Prior, S.A. (1997). Plant response to atmospheric CO_2 enrichment. In: Allen, J. R. (eds.), Advances in carbon dioxide effects research. *ASA Special Publication no. 61. ASA. CSSA. Madison. WI*. 1-34. https://doi.org/10.2134/asaspecpub61.c1
14. Schoch, P.G., Jacques, R., Lecharny, A., & Sibi, M. (1984). Dependence of stomatal index on environmental factors during stomata differentiation in leaves of *Vigna sinensis* L2. Effect of different light quality. *Journal of Experimental Botany*, *35*, 1405–1409.
15. Shoor, M., Goldani, M., & Mandany, F. (2009). Effect of increasing carbon dioxide concentration on morphophysiological traits of marigold (*Tagets* spp.), blanket flower (*Gaillardia* spp.) floss flower (*Ageratum* spp.) in greenhouse conditions. *Journal of Agricultural Ecology*, *2*, 108-101. (In Persian with English abstract)
16. Uprety, D.C., Dwivedi, N.J., & Mohan, V.R. (2002). Effect of elevated carbon dioxide concentration on the stomatal parameters of rice cultivars. *Photosynthetica*, *40*, 315–319. https://doi.org/10.1023/A:1021322513770
17. Van Labeke, M.C., & Dambre, P. (1998). Effect of supplementary lighting and CO_2 enrichment on yield and flower stem quality of *Alstroemeria* cultivars. *Scientia Horticulturae*, *74*, 269-278. https://doi.org/10.1016/S0304-4238(98)00091-0
18. Woodward, F.I. (1987). Stomatal numbers are sensitive to increase in CO_2 from pre-industrial levels. *Nature*, *327*, 617–618. https://doi.org/10.1038/327617a0
19. Woodward, F.I., & Kelly, C.K. (1995). The influence of CO_2 concentration on stomatal density. *New Phytology*, *131*, 311–327. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1995.tb03067.x